



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Spatial perspectives of urbanization-induced plant evolution [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	石黒, 智基
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16219号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95267
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	ISHIGURO_Tomoki_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 石黒 智基

審査委員 主査 教授 内海 俊介
副査 教授 越川 滋行
副査 教授 中村 誠宏
副査 助教 佐藤 安弘

学 位 論 文 題 名

Spatial perspectives of urbanization-induced plant evolution
(都市化が駆動する植物の進化に関する空間的観点に基づいた研究)

近年、都市化が駆動する生物の進化についての知見が急速に蓄積されている。しかし、都市環境の進化的影響の実態について、まだ多くのことが明らかではない。これは、都市進化の研究のほとんどが都市対郊外の二分的比較やトランセクト調査による研究(以下、従来アプローチ)が主流で、それゆえ以下の3点が解明されていないからである。(1)多くの環境要素が都市勾配に沿って変化し、その変動様式は非線形的・不連続的だが、従来アプローチでは都市化によって変化するどの因子が形質進化を駆動するのか明らかにできない。(2)都市ー郊外における形質や遺伝子頻度には、ミクロ要因だけでなくマクロ要因が影響しているが、従来アプローチは都市ー郊外間でのパターンにもっぱら着目し、ミクロ要因とマクロ要因の両方を考慮したメカニスティックな理解は進んでおらず、異なる都市で共通する都市進化のメカニズムに関する理解に至っていない。(3)従来アプローチによって都市ー郊外での形質のトレンドが検討されてきたが、都市と郊外での自然選択の違いを実際に検証したものはない。

これらの問題を乗り越えるため、本研究は空間的観点を重視した以下のアプローチを採用した: 1) 都市ー郊外における進化の実態についての包括的な理解を目指す景観アプローチ、2) 複数の都市を対象にした景観アプローチの拡張と、ミクロ要因とマクロ要因を同時に考慮したモデリング、3) 実際の都市環境と郊外環境で同時に行う交互移植実験による自然選択の実証。本研究では、世界中で生育するシロツメクサに着目し、これらの空間的な観点から都市において生物がどのように進化し、適応していくのかを明らかにすることを目的とした。シロツメクサには、被食防衛に寄与するシアン(HCN)産生能とその2つの構成因子についての遺伝的多型が存在する。

HCNおよびその構成因子の頻度と、食害、開空度、人工地表面率などの環境要因の空間的変動との関係を景観アプローチによって解析した。都市景観の不均質性は、環境要因の複雑な空間変動をもたらした。食害、開空度、人工地表面率は、集団におけるシアン産生能の頻度に強く影響した。特に、人工地表面率はシアン配糖体生成遺伝子を持つシロツメクサ頻度と関連していた。その結果、シアン配糖体生成遺伝子を持つシロツメクサ頻度は、都市中心部ほど低く郊外部ほど高くなるという明瞭な勾配が検出された。一方、シアン産生能の空間構造はモザイク状で、食害の影響を受け、シアン配糖体生成遺伝子とHCN産生能の空間構造は一致しな

かった。都市景観の不均質性が、進化的形質のモザイク状空間構造を決定していることが明らかになった。

異なる都市における都市進化メカニズムの共通性に関する理解を深めるため、景観アプローチを気候の異なる複数都市に拡張した。都市化にともなう環境変動である人工地表面率と気温からシアン配糖体生成遺伝子とHCNシアン産性能への一貫した影響が検出された。このことは、複数の都市にわたって都市化による特徴的かつ共通した環境変化があり、それが平行的に都市進化を駆動していることを示唆する。緯度・経度というマクロスケールな環境の違いも、HCNシアン産性能とその構成因子の集団内頻度に影響を与えることが分かった。マクロスケールな環境の影響と、都市化による環境変動の影響が相加的に影響し、異なる都市でも共通した都市進化メカニズムがあると考えられた。

都市と郊外において自然選択の様式そのものが変化している可能性を検証するため、都市環境と郊外環境における大規模な相互移植実験を実施した。シアン産性能に対する頻度依存選択に着目し、周囲のシアン産性遺伝子型の頻度を操作して適応度指標への影響を調べた。食害圧が高い郊外環境においては負の頻度依存選択が働くが、食害圧が低い都市環境においては正の頻度依存選択になっており、自然選択の様式そのものが変化していることが分かった。郊外環境では負の頻度依存選択によって遺伝的多型が維持され、シアン産性能は高い頻度で保たれる。しかし、都市化によってこの平衡選択が崩壊し、多型が喪失して一方向の進化に向かってしまうこと、特にシアン産性能が失われる方向へ進化しやすいことが示唆された。

本研究により、都市から郊外にかけた不均質な環境変動の影響、地域的なマクロスケールの影響、そして、都市と郊外での局所的な環境の違いによって自然選択の様式そのものが変化することが明らかになった。以上は、都市化が駆動する進化のメカニズムとその共通性に関する、これまでに解明されていなかった新たな知見を与えるものである。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。